

Bírálat

Illés Balázs

„HŐ- ÉS ANYAGTRANSPORT FOLYAMATOK
VIZSGÁLATA AZ ELEKTRONIKAI FELÜLETSZERELÉSTECHNOLÓGIÁ”
című

MTA doktori értekezéséről

Az Illés Balázs által készített MTA doktori értekezés összesen 95 (irodalom jegyzékkel 108) oldal terjedelmű, egyértelmű fogalmazású, s a szövegbe ágyazott ábrákkal, valamint táblázatokkal gazdagon illusztrált és gondosan szerkesztett munka. A doktori értekezés két egymással összefüggő, de különálló részből tevődik össze: egyrészt a *„gőzfázisú forrasztás numerikus modellezése”,* másrészt az *„ón whisker¹ növekedés és az egyes gátló tényezők hatásmechanizmusának vizsgálata”* volt a Jelölt célja.

Az értekezés az egyes részterületekre külön-külön tartalmazza a célkitűzést. Míg a gőzfázisú forrasztás numerikus modellezése kutatási részterületen viszonylag röviden és eléggé általánosan (*„gőzfázisú forrasztás komplex szimulációs modelljének létrehozása, ...végbemenő fizikai folyamatok vizsgálata”*) fogalmaz a Jelölt, addig az ón tűkristályok növekedését szabályozó tényezők számbavétele már konkrét tudományos részproblémákra utal: a nikkel réteg és az ón forrasztási bevonat között keletkező intermetallikus zóna kialakulásának leírása; az ón tűkristály keletkezését kiváltó tényezők feltérképezése; magas óntartalmú, mikro-ötvözt SAC forrasztásokban az ón tűkristály képződésének vizsgálata, különös tekintettel az az áramterhelés hatására.

Az értekezést az egyes részterületekre külön-külön vonatkozó alapos szakirodalmi áttekintés vezeti be, majd a gondosan kivitelezett saját kísérleti megoldásokat, a korszerű eszközökkel végzett méréseket és az elért új tudományos eredményeket mutatja be a szerző. A dolgozathoz összesen 199

¹ Amennyiben lehetséges: célszerűnek és indokoltnak tartom magyar nyelvű értekezésben a magyar szakkifejezések alkalmazását, így a 'whisker' helyett javaslom a tűkristály elnevezés használatát.

tételből álló, s az egyes fejezetekhez külön-külön összeállított irodalomjegyzék tartozik.

Összességében elmondható, hogy az értekezés a formai követelményeknek minden tekintetben megfelel.

Illés Balázs a disszertáció bevezetésben indokolja a témaválasztását, s a terület tudományos ill. gazdasági jelentőségéről ír. Bemutatja a gőzfázisú forrasztási technológiát, kitérve arra, hogy a végbemenő fizikai folyamatok részletes leírása: a gőztér kialakulása, a gőztér és a forrasztott áramkör kölcsönhatása, a kondenzációs réteg felépülése és annak hatása a fűtés hatékonyságára még nem ismert. Az ón tűkristály képződésének ismertetésekor helyesen mutat rá arra, hogy az ón szemcsék között kialakuló nyomófeszültség különbség a kiváltó ok, s a növekedés hajtóereje a nyomófeszültség „relaxációja”.

Azzal is egyetértek, hogy a gőzfázisú forrasztási technológiában, valamint az ón tűkristály képződésében kulcsszerepet játszanak a hő- és/vagy anyagtranszport folyamatok, s ez a közös tudományos megközelítési szempont a két vizsgált terület között.

A fogalmak használatával kapcsolatban egy megjegyzést tennék. Véleményem szerint a **jelölt által felváltva használt szimuláció és a modellezés kifejezés különböző szakmai tartalmakat** takar az anyagtudományi gyakorlatban

Szimuláció: a valóságos folyamatok újra játszása: vagy tisztán matematikai modell segítségével, vagy laboratóriumi körülmények között, kisebb léptékben. Ezzel szemben a modellezés a folyamatok legjellemzőbb sajátosságainak természettudományi alapokon történő leírása, s a kapott összefüggések valamilyen (pld. numerikus) megoldása. Véleményem szerint a jelölt által alkalmazott módszer a modellezés kategóriájába tartozik.

Mindezek alapján elmondható, hogy a jelölt témája közvetlenül kapcsolódik az anyagtudomány egyik modern részterületéhez, úgymint: a hő és anyagtranszport folyamatok leírásához, s a technológiai folyamatok modellezéséhez.

A dolgozat 2. fejezetében a Jelölt áttekinti a gőzfázisú forrasztási technológiával foglalkozó szakirodalmat, részletesen kitérve a Leider által bemutatott modellre, s a gőzfázisú forrasztás hőátadási tényezőjének

meghatározási nehézségeire, becslési módjaira. A következő alfejezetben a kísérletek során alkalmazott eszközöket és módszereket ismerteti a Jelölt. Ezután a gőztér modell fizikai és numerikus leírására, valamint a geometriai modell bemutatására és a modell ellenőrzésére kerül sor. A soron következő részben a kondenzátum réteg modell fizikai és numerikus leírása, valamint a geometriai felbontás ismertetése és ellenőrzése következik.

A gőzfázisú forrasztási technológia modellezésével kapcsolatos utolsó alfejezet a vákuumos gőzfázisú forrasztással foglalkozik. Az előzőkhez hasonlóan a Jelölt a modell fizikai és numerikus leírását végzi el, valamint ismerteti a geometriai felbontást, majd ellenőrzi a kapott eredményeket

A gőztér modellel, a kondenzátum réteg modellel és a vákuumos gőzfázisú forrasztás modeljével kapcsolatos felvetésem: a számítások során használt anyagjellemzők (2.1., 2.4. és 2.5. Táblázat) forrás munkáit, meghatározásának körülményeit rendkívül fontos lenne feltüntetni, hiszen ezek a modell futtatásakor kapott eredményeket jelentősen befolyásolják, befolyásolhatják, kérem ezeket pótolni. Kérdésem: az anyagjellemzők (2.1., 2.4. és 2.5. Táblázat, fajlagos hővezetési tényező) hőmérséklet függését figyelembe vette a számítások során? Ha nem, akkor indokolja a döntését.

A gőzfázisú forrasztási technológiával kapcsolatos kutatómunkával kapcsolatban megállapítom, hogy a **Jelölt új tudományos eredményeket tárt fel, azokat kellő mélységben bizonyította.**

Új tudományos eredménynek ismerem el:

- ❖ Az **első tézist**, amelyben a gőzfázisú forrasztási technológia komplex modellje szerepel. A modell három fő részre bontható: a gőztér kialakulásának és a forrasztott áramkör bemelegítése miatti változásainak leírása; a forrasztandó hordozó felszínén a kondenzációs filmréteg kialakulásának és dinamikus változásának leírása; valamint a gőztér eltávolításának leírása a vákuumos zárványmentesítéskor.
- ❖ A **második tézist**, amelynél az altézisekben találhatóak az új tudományos eredménynek tekinthető megállapítások: gőzfázisú forrasztáskor a fűtésében lényeges (15-20%-os) hányadot képez a

gőztérből hővezetés útján érkező hő; a harmatpont figyelembevétele elengedhetetlen a gőzfázisú forrasztás modellezésekor; a gőzfázisú forrasztás dinamikus hőátadási tényezője (HTC) a hordozó anyagának hődiffúzitívásával és a kondenzátum réteg vastagságával együttesen jellemezhető.

- ❖ A **harmadik tézist**, ekkor szintén az altézisekben találhatóak az új tudományos eredménynek tekinthető megállapítások: gőzfázisú forrasztáskor a hordozó felszínén kialakuló kondenzációs filmréteg közel sem tekinthető statikusnak; gőzfázisú forrasztáskor a hordozó kisszögű (1–10°-os) megdöntése egyenletesebbé teszi a hordozó fűtését.

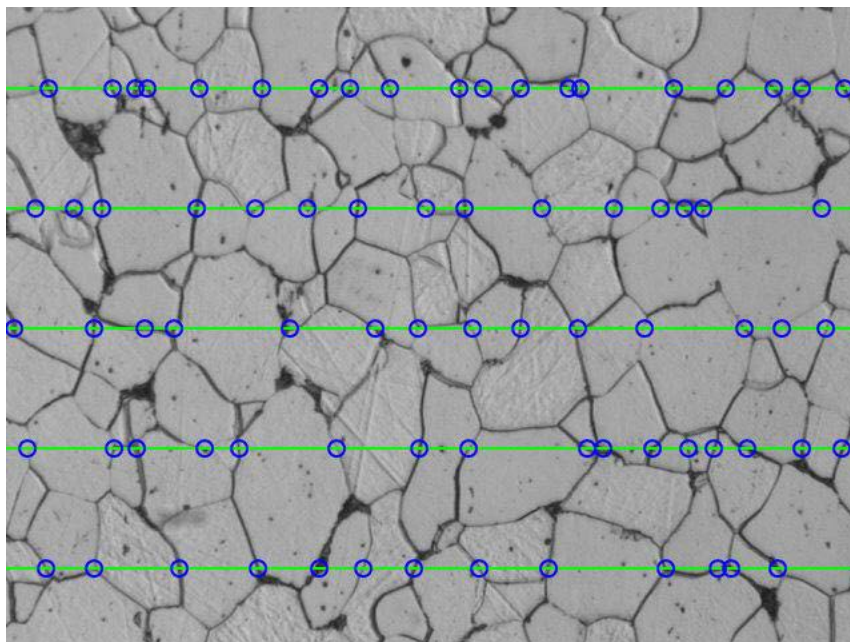
Ugyanakkor a **negyedik tézist**, amely fontos technológiai megállapítást tesz, ugyanakkor minden hőközlés alapján működő technológiára igaznak és közismertnek tartom: „különös figyelemmel kell lenni a rendszer hőveszteségeire, a szerelt áramkör felépítésre és rendszer beállításaira”, ezért **nem tudom elfogadni**.

A dolgozat 3. fejezetében a Jelölt áttekinti az ón tűkristályok képződésével és növekedésével kapcsolatos szakirodalmat, ismertette a konkrét tudományos célkitűzéseket². A következő alfejezet az első részben már megszokott felépítés szerint az alkalmazott eszközöket és módszereket mutatja be. Ebben a részben szó van a tűkristályok területegységre eső sűrűségének és átlagos hosszának meghatározásáról, a Jelölt bemutatja a tűkristályok darabszámának meghatározására szolgáló félautomatikus módszert, amelynek alapja egy olyan algoritmus amelyik elválasztja a tűkristályokat a kép háttérétől. Ezzel szemben a bináris kép létrehozása biztosan nem a „tűkristályok ún. átlagos befogott úthosszának számítása (ASTM E112-12)” alapján történik. Ugyanis a szemcseméretet a Matlab valóban az ún. átlagos úthossz (szemcsehatártól, szemcsehatárig) alapján határozza meg³: ennek a lényege, hogy a vizsgálandó területre tesztvonalakat (rendszerint, de nem minden esetben: egyeneseket) helyezünk, s megszámláljuk a szemcsehatár és a metsző tesztvonalak fajlagos

² Megjegyzem, hogy a tudományos célkitűzéseknek a Tézisfüzetben történő megfogalmazása sokkal egyértelműbb.

³ MATLAB leírás, <https://se.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/35203-grain-and-particle-analysis-with-line-intersection-method>. „This program allows you to analyze the size of grains in a micrograph with the intersection method arranged...”.

metszésszámát (P_L), ekkor az átlagos térbeli szemcseméret: $L_3=1/P_L$. A módszer (ASTM E112) illusztrálására az ImageAccess Grain Size Line Cut moduljának leírásából közlök egy képet.



1. Ábra ImageAccess Grain Size Line Cut moduljának működése

A szegmentálás az objektumok (pld. tűkristályok) és a háttér elkülönítése teljesen más módon, valamilyen jellemzőjük (pl. szürkeségi szintjük, textúrájuk, morfológiájuk) alapján történik, aminek eredményeképpen bináris kép áll elő⁴.

Kérdéseim: milyen algoritmus alapján történt a tűkristályok szegmentálása, a háttértől való elválasztás? A szegmentálás teljesen automatikusan történt, vagy szükség volt a kezelő beavatkozására, korrekciójára? Milyen szempontok alapján, milyen módon történt a vizsgált terület kijelölése? Hogyan döntötte el, hogy a tűkristályok sűrűségét milyen méretű felületegységre ($0,0025-1 \text{ mm}^2$) vonatkoztatja? Az alkalmazott 20 mérés estén összesen hány darab tűkristályt vizsgált? Az intermetallikus réteg vastagságnak meghatározásakor hogyan választotta ki a vizsgált rétegeket (4 db) és a mérési pontokat (60 db)?

⁴ Gácsi Zoltán, Sárközi Gábor, Réti Tamás, Kovács Jenő, Csepeli Zsolt, Mertinger Valéria: Sztereológia és Képelemzés. WellPress – PHARE. Miskolc, 2001.

A tűkristály képződés és növekedés kísérleti vizsgálata során a Jelölt a növekedést kiváltó hatások gyorsítására háromféle öregítési eljárást alkalmazott: száraz-meleg teszt, nedves-meleg teszt, túlnyomásos nedves-meleg teszt, s először a nikkel köztesrétegnek az intermetallikus réteggépződésre gyakorolt hatását vizsgálta. A próbatesteken gondosan kivitelezett és pontosan interpretált nagyon korszerű szerkezetvizsgálatokat (FIB-SIM felvételek, TEM analízis, EDS elem térkép, TEM vonalanalízis, TEM SEAD) végzett. Ezután a kémiai ónbevonatok, illetve a vákuum párologtatott ónbevonatok tűkristályképződési hajlamát vizsgálta hasonlóan igényesen kivitelezett és kiértékelt kísérletekkel. Végül a mikroötvözött magas óntartalmú SAC forrasztótvözeteket tanulmányozta.

Az ón tűkristály képződésének tanulmányozásával foglalkozó kutatómunkával kapcsolatban megállapítom, hogy a **Jelölt új tudományos eredményeket tárt fel, azokat kellő mélységben bizonyította.**

Új tudományos eredménynek ismerem el:

- ❖ A **hatodik tézist**, amelynek első mondata nem szerencsés mert nem tartalmaz tudományos állítást, de az alpontokban megtalálhatóak az új tudományos eredménynek tekinthető megállapítások: magas hőmérsékletű öregítés hatására a 0.5–2.5 μm vastagságú, réz bázisra felvitt kémiai ónréteg is képes ón tűkristály növesztésére, a növekedés fő kiváltó tényezője a magas hőmérséklet indukálta intermetallikus rétegnövekedés; a 300–500 nm vastagságú, réz bázisra vákuumpárologtatott ónrétegekre a szobahőmérsékleten képződő 100–150 nm vastagságú intermetallikus réteg akkora nyomófeszültséget fejt ki, hogy az intenzív whisker növekedést eredményez.
- ❖ A **hetedik tézist**, amelyben az szerepel, hogy korrozív körülményeknek alávetve az ólommentes ón-ezüst-réz (SnAgCu, SAC) forrasztótvözeteket a tiszta ónhoz hasonló mértékben képesek ón whisker növesztésére. A – nagyon helyesen – általánosabban megfogalmazott tézist alátámasztó fontos, új kísérleti megállapítások az alpontokban találhatóak: a forrasztótvözetek között tapasztalható ón tűkristály növekedési különbség fő okozója az ötvözetek

különböző korróziós ellenállása; a korrozív klímában az áramterhelés csökkenti az SAC ötvözetből képződő tűkristályok számát, mivel késlelteti a kötésekben végbemenő korróziós folyamatokat.

Ugyanakkor az **ötödik tézis** a szilárd/szilárd fázisban létrejött „Sn/Ni réteghatáron az intermetallikus réteg kialakulásának jellemzése” nem tudományos tétel. Bár az alpontokban technológiai szempontból értékes megállapítások szerepelnek, de nem jelentenek tudományos újdonságot. Egyet kivéve: *„ón whisker képződési hajlamának egyik lényeges tényezője az ónréteg felvitelekor kialakuló (kezdeti) intermetallikus rétegek szerkezetbeli különbsége és nem csak a Cu₆Sn₅ réteg nagyobb abszolút növekedési sebességének”*. Itt viszont az általam aláhúzott mondatrész nem pontosan érthető. Így **ezt a tézist** ebben a formában nem tudom elfogadni. Ugyanakkor **kérem, hogy magyarázza meg ezt az alpontot.**

Összefoglalva: Illés Balázs **nagyon magas színvonalú tudományos munkát végzett**, igen **kiváló szakmai felkészültségről** tanúskodó értekezést készített, valamint az új tudományos eredményeit **elismert folyóiratokban** publikálta, amelyekre már **több hivatkozás** is érkezett.

Mindezek alapján az Illés Balázs által készített doktori munka eredményeit elegendőnek tartom az MTA doktori cím megszerzéséhez, a nyilvános védés kitűzését javaslom.

Miskolc, 20018. október 23.

Gácsi Zoltán
az MTA Doktora